



日

本 国
JAPAN PATENT OFFICE

101029036
Attorney Docket No. 1794.0146P
TAKIZAWA, Yoshiyuki et al.
December 28, 2001
Birch, Stewart, Kalasch & Birch, LLP
特許庁
特(03)505-8000

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出願年月日
Date of Application:

2000年12月28日

出願番号
Application Number:

特願2000-400417

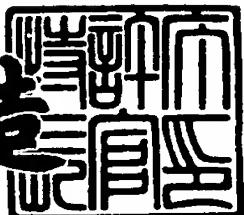
出願人
Applicant(s):

理化学研究所

2001年11月16日

特許長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3099989

【書類名】 特許願

【整理番号】 RK12015

【提出日】 平成12年12月28日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 G01T 1/00

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内

【氏名】 滝澤 麗之

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内

【氏名】 高橋 義幸

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内

【氏名】 戎崎 俊一

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所内

【氏名】 清水 裕彦

【特許出願人】

【識別番号】 000006792

【氏名又は名称】 理化学研究所

【代理人】

【識別番号】 100087000

【住所又は居所】 東京都豊島区西池袋1-5-11-404

【弁理士】

【氏名又は名称】 上島 淳一

【電話番号】 03-5992-2315

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 058609

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9207956

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 広帯域直入射望遠鏡

【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定形状の領域毎にそれぞれ異なる種類の多層膜が形成された表面部を有し、該表面部において入射された光を反射する反射鏡と、

前記表面部において反射された光が入射され、該入射された光を分光検出する検出器と

を有する広帯域直入射望遠鏡。

【請求項2】 請求項1に記載の広帯域直入射望遠鏡において、

前記表面部の異なる種類の多層膜は、軟X線から極端紫外線の領域における所定のエネルギーの光をそれぞれ反射するとともに、真空紫外線から可視光までの領域にわたって全反射による高い反射率を有する

ものである広帯域直入射望遠鏡。

【請求項3】 請求項1または請求項2のいずれか1項に記載の広帯域直入射望遠鏡において、

前記表面部は円形形状を有し、該円形形状の中心部を頂点とする所定の中心角を備えた複数の扇形形状の領域に区分された

ものである広帯域直入射望遠鏡。

【請求項4】 請求項3に記載の広帯域直入射望遠鏡において、

前記表面部は、所定の数の前記扇形形状の領域からなる複数のセクションにより構成され、前記複数のセクションのそれぞれにおいて、前記扇形形状の領域に形成された多層膜の種類と該種類の並び順とがそれぞれ一致している

広帯域直入射望遠鏡。

【請求項5】 周期長を深さ方向において連続的に変化させ、軟X線から極端紫外線の領域における所定のエネルギーの光をそれぞれ反射するとともに、真空紫外線から可視光までの領域にわたって全反射による高い反射率を有する多層膜が形成された表面部を有し、該表面部において入射された光を反射する反射鏡と、

前記反射鏡の前記表面部において反射された光が入射され、該入射された光を

分光検出する検出器と

を有する広帯域直入射望遠鏡。

【請求項6】 請求項1、請求項2、請求項3、請求項4または請求項5の
いずれか1項に記載の広帯域直入射望遠鏡において、

前記検出器は、超伝導トンネル接合素子である

広帯域直入射望遠鏡。

【請求項7】 いずれも中心角が10度の扇形形状の領域であって、100
eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成された第1の扇形形状の領
域と、90eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成された第2の扇
形形状の領域と、80eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成され
た第3の扇形形状の領域と、70eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形
成された第4の扇形形状の領域と、60eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜
が形成された第5の扇形形状の領域と、50eVのエネルギーを有す
る光を反射する多層膜が形成された第6の扇形形状の領域と、40eVのエネル
ギーを有する光を反射する多層膜が形成された第7の扇形形状の領域と、30e
Vのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成された第8の扇形形状の領域
と、20eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成された第9の扇形
形状の領域とを、時計回り方向で順次配置するセクションが4つ存在して円形形
状に構成した表面部を有し、該表面部において入射された光を反射する反射鏡と

前記反射鏡の前記表面部において反射された光が入射され、該入射された光を
分光検出する超伝導トンネル接合素子と

を有する広帯域直入射望遠鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、広帯域直入射望遠鏡に関し、さらに詳細には、広いエネルギー帯域
の光が垂直に入射する天体観測に用いて好適な広帯域直入射望遠鏡に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、表面に多層膜が形成されて当該多層膜に対応する所定のエネルギーの光のみを高い反射率で反射する反射鏡と、当該反射鏡によって反射された反射光が集光されて所定のエネルギーの光を検出する半導体検出器などの検出器とを有し、所定のエネルギーの光を観測する直入射望遠鏡が知られている。

【0003】

一方、天体観測においては、見かけのエネルギー準位が集団運動および赤方変移でかなり変動するため、静止系で予想されるエネルギー帯域では観測されない。従来の反射鏡の多層膜は、所定のエネルギーの光のみを高い反射率で反射する狭帯域のため、大きく変動する天体での線スペクトルの発見が望めないものである。

【0004】

即ち、上記したような天体観測においては、広いエネルギー帯域の光を観測することができるような直入射望遠鏡が望まれており、特に、軟X線から極端紫外線の領域においては、複素屈折率が1に近く、 $\delta (= 1 - n)$ も消衰係数 κ も1より十分に小さいために、垂直入射の反射率がバルクで1%にも満たない。また、軟X線から極端紫外線の領域の光は大気によって吸収されてしまうため、大気圏の外側において観測できる直入射望遠鏡が望まれている。

【0005】

しかしながら、従来の直入射望遠鏡においては、反射鏡の表面に形成されている多層膜が所定のエネルギーの光に対してのみ高い反射率を有するものであるので、当該多層膜が形成された反射鏡によって高い反射率で反射された所定のエネルギーの光しか観測することができず、広いエネルギー帯域の光、例えば、軟X線から可視光の領域の光を観測することができないという問題点があった。

【0006】

また、従来の直入射望遠鏡においては、1台の直入射望遠鏡では反射鏡の多層膜に応じた所定のエネルギーの光しか観測することができないので、こうした従来の直入射望遠鏡によって広いエネルギー帯域の光を観測するためには、それぞれ異なるエネルギーの光を反射する多層膜が形成された反射鏡を有する複数の直

入射望遠鏡を用いる必要があり、コストアップを招来するという問題点があった。

【0007】

さらに、それぞれ異なるエネルギーの光を反射する多層膜が形成された反射鏡を有するようにして従来の直入射望遠鏡を複数台用いると、当該複数の直入射望遠鏡を制御する必要があり、効率が低下するという問題点があった。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は、上記したような従来の技術の有する問題点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、単一の反射鏡によって広いエネルギー帯域、例えば、軟X線から可視光の領域の光それぞれを高い反射率で反射するようにして、広いエネルギー帯域の光を観測することができるようとした広帯域直入射望遠鏡を提供しようとするものである。

【0009】

また、本発明の目的とするところは、単一の反射鏡によって、例えば、軟X線から可視光の領域の広いエネルギー帯域の光それぞれを高い反射率で反射するようにして、複数の直入射望遠鏡を用いる必要をなくし、コストの低減を図ることができるとともに効率よく広いエネルギー帯域の光を観測することができるようとした広帯域直入射望遠鏡を提供しようとするものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明のうち請求項1に記載の発明は、所定形状の領域毎にそれぞれ異なる種類の多層膜が形成された表面部を有し、当該表面部において入射された光を反射する反射鏡と、上記表面部において反射された光が入射され、当該入射された光を分光検出する検出器とを有するようにしたものである。

【0011】

従って、本発明のうち請求項1に記載の発明によれば、広いエネルギー帯域の光が反射鏡の表面部に入射すると、当該広いエネルギー帯域の光のうちの所定の

エネルギーを有する光それぞれが、対応する種類の多層膜によって反射され、当該反射鏡の表面部において反射された光が検出器によって分光検出されるので、広いエネルギー帯域の光それぞれを観測することができる。

【0012】

また、単一の反射鏡によって広いエネルギー帯域の光それぞれを高い反射率で反射するので、複数の直入射望遠鏡を用いる必要がなくなり、コストの低減を図ることができるとともに効率よく広いエネルギー帯域の光を観測することができる。

【0013】

また、本発明のうち請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、上記表面部の異なる種類の多層膜は、軟X線から極端紫外線の領域における所定のエネルギーの光をそれぞれ反射するとともに、真空紫外線から可視光までの領域にわたって全反射による高い反射率を有するようにしたものである。

【0014】

従って、本発明のうち請求項2に記載の発明によれば、単一の反射鏡の複数の領域それぞれの多層膜の層と層の境界面において、軟X線から極端紫外線の領域の所定のエネルギーの光それぞれが反射され干渉により高い反射率で反射されるとともに、多層膜の表面によって、真空紫外線から可視光の領域の光それぞれが全反射（鏡面反射）により高い反射率で反射されるので、入射された軟X線から可視光の領域の広いエネルギー帯域の光の同時観測をすることができる。

【0015】

また、本発明のうち請求項3に記載の発明のように、請求項1または請求項2のいずれか1項に記載の発明において、上記表面部は円形形状を有し、当該円形形状の中心部を頂点とする所定の中心角を備えた複数の扇形形状の領域に区分されるようにしてもよい。

【0016】

また、本発明のうち請求項4に記載の発明のように、請求項3に記載の発明において、上記表面部は、所定の数の上記扇形形状の領域からなる複数のセクションにより構成され、上記複数のセクションのそれぞれにおいて、上記扇形形状の

領域に形成された多層膜の種類と当該種類の並び順とがそれぞれ一致しているようにしてよい。

【0017】

このようにすると、反射鏡の表面に入射された広いエネルギー帯域の光のうちの所定のエネルギーの光それぞれは、複数のセクションそれぞれの対応する扇形形状の領域において、即ち、複数の箇所において反射され、当該複数の箇所からの反射光が検出器に集光されるので高い結像性能を有する。

【0018】

また、本発明のうち請求項5に記載の発明は、周期長を深さ方向において連続的に変化させ、軟X線から極端紫外線の領域における所定のエネルギーの光をそれぞれ反射するとともに、真空紫外線から可視光までの領域にわたって全反射による高い反射率を有する多層膜が形成された表面部を有し、当該表面部において入射された光を反射する反射鏡と、上記反射鏡の上記表面部において反射された光が入射され、当該入射された光を分光検出する検出器とを有するようにしたものである。

【0019】

従って、本発明のうち請求項5に記載の発明によれば、反射鏡の表面部に入射した広いエネルギー帯域の光それぞれが、周期長を深さ方向において連続的に変化させた多層膜たるスーパーミラーの対応する周期長を有する層と層の境界面によって反射され、当該反射鏡の表面部において反射された光が検出器によって分光検出されるので、入射された軟X線から可視光の領域の広いエネルギー帯域の光の同時観測をすることができる。

【0020】

また、本発明のうち請求項6に記載の発明は、請求項1、請求項2、請求項3、請求項4または請求項5のいずれか1項に記載の発明において、上記検出器は、超伝導トンネル接合素子であるようにしたものである。

【0021】

従って、本発明のうち請求項6に記載の発明によれば、X線から赤外線までの広帯域において高い感度と分光能力とを有する検出器として機能する超伝導トン

ネル接合素子によって、单一または複数の反射鏡によって反射された広いエネルギー帯域の光それぞれを单一の検出器で分光検出することができる。

【0022】

また、本発明のうち請求項7に記載の発明のように、いずれも中心角が10度の扇形形状の領域であって、100eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成された第1の扇形形状の領域と、90eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成された第2の扇形形状の領域と、80eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成された第3の扇形形状の領域と、70eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成された第4の扇形形状の領域と、60eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成された第5の扇形形状の領域と、50eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成された第6の扇形形状の領域と、40eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成された第7の扇形形状の領域と、30eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成された第8の扇形形状の領域と、20eVのエネルギーを有する光を反射する多層膜が形成された第9の扇形形状の領域とを、時計回り方向で順次配置するセクションが4つ存在して円形形状に構成した表面部を有し、当該表面部において入射された光を反射する反射鏡と、上記反射鏡の上記表面部において反射された光が入射され、当該入射された光を分光検出する超伝導トンネル接合素子とを有するようにしてもよい。

【0023】

【発明の実施の形態】

以下、添付の図面を参照しながら、本発明による広帯域直入射望遠鏡の第1の実施の形態を詳細に説明するものとする。

【0024】

図1には、本発明による広帯域直入射望遠鏡の第1の実施の形態を示す概念構成説明図が示されており、図2には、図1におけるA矢視図が示されており、図3には、図2におけるB-B線断面図の一部拡大説明図が示されている。

【0025】

図1に示す本発明による広帯域直入射望遠鏡10は、光が垂直に入射する反射

鏡12と、反射鏡12からの反射光が集光される検出器たる超伝導トンネル接合素子 (Superconducting Tunnel Junction: STJ) 14とを有して構成されている。

【0026】

ここで、反射鏡12は、全体が円形の皿状体12aであり、当該皿状体12aの表面部12bは、中心部Pを中心として凹状に窪んで形成された回転放物面として形成されている。

【0027】

そして、反射鏡12の円形形状を有する表面部12bは、中心部Pを頂点とする複数の扇形形状の領域12cに区分されており、当該表面部12bにおける複数の扇形形状の領域12cはそれぞれ、軟X線から極端紫外線の領域における所定のエネルギーの光をそれぞれ反射するとともに、真空紫外線から可視光までの領域にわたって全反射による高い反射率を有する多層膜12d（図3参照）が形成されているものである。

【0028】

より詳細には、反射鏡12における表面部12bは36個の扇形形状の領域12cに区分されており、当該36個の扇形形状の領域12cはそれぞれ、中心部Pを頂点とする中心角 α が10度となされており、いずれも等しい面積を有するものである。

【0029】

そして、当該36個の扇形形状の領域12cは、9個の扇形形状の領域12cを一組として1つのセクションを形成しており、従って、表面部12dには4つのセクションが存在するものである。

【0030】

これら4つのセクションそれぞれにおいては、セクションを形成する9個の扇形形状の領域12cが時計回り方向で、100eVのエネルギーを有する光を反射する扇形形状の領域12c-100、90eVのエネルギーを有する光を反射する扇形形状の領域12c-90、80eVのエネルギーを有する光を反射する扇形形状の領域12c-80、70eVのエネルギーを有する光を反射する扇形

形状の領域 12c-70、60eV のエネルギーを有する光を反射する扇形形状の領域 12c-60、50eV のエネルギーを有する光を反射する扇形形状の領域 12c-50、40eV のエネルギーを有する光を反射する扇形形状の領域 12c-40、30eV のエネルギーを有する光を反射する扇形形状の領域 12c-30、20eV のエネルギーを有する光を反射する扇形形状の領域 12c-20 の順で配置されている。

【0031】

これら表面部 12b の扇形形状の領域 12c-100、12c-90、12c-80、12c-70、12c-60、12c-50、12c-40、12c-30、12c-20 はいずれも、上記したように図3に示すと同様な多層膜 12d の構造を有するものである。

【0032】

多層膜 12d は、反射鏡 12 の皿状体 12a 上に、所定の屈折率を有する第1の層 12d-1 を形成し、当該第1の層 12d-1 上に当該第1の層 12d-1 の屈折率とは異なる屈折率を有する第2の層 12d-2 を積層する。そして、これら第1の層 12d-1 と当該第1の層 12d-1 に積層された第2の層 12d-2 との2つの層を一組として所定の積層数 n (ただし、「n」は正の整数である。) 分だけ積層して形成され。

【0033】

こうして屈折率の異なる薄膜が多層状に重ねられるとともに、1組の第1の層 12d-1 と第2の層 12d-2 との膜厚たる周期長 d がブリッジ反射を利用するようにして形成されると、この多層膜 12d に入射した光は第1の層 12d-1 と第2の層 12d-2 との境界面で反射され、当該第1の層 12d-1 と第2の層 12d-2 との境界面で反射された反射光の干渉が生じて、所定のエネルギーの光が高い反射率で反射されることになるものである。

【0034】

上記した表面部 12b の扇形形状の領域 12c-100、12c-90、12c-80、12c-70、12c-60、12c-50、12c-40、12c-30、12c-20 それぞれの多層膜は、対応する所定のエネルギーの光を高

い反射率で反射するような周期長 d で、それぞれ所定の屈折率を有する第1の層 $1 \ 2 \ d - 1$ と第2の層 $1 \ 2 \ d - 2$ とが所定の積層数 n 分だけ積層されて形成されている。

【0035】

具体的には、第1の層 $1 \ 2 \ d - 1$ は、例えば、Ni（ニッケル）、Mo（モリブデン）などの重元素によって形成されるものであり、第2の層 $1 \ 2 \ d - 2$ は、例えば、C（炭素）、Si（ケイ素）などの軽元素によって形成されるものである。

【0036】

なお、反射鏡12の表面部 $1 \ 2 \ b$ の扇形形状の領域 $1 \ 2 \ c$ それに所定のエネルギーの光を反射する多層膜 $1 \ 2 \ d$ を形成するには、公知の技術を用いることができ、その成膜装置ならびに成膜方法の詳細な説明は省略することとする。

【0037】

ここで、反射鏡12の表面部 $1 \ 2 \ b$ の所定の扇形形状の領域 $1 \ 2 \ c$ に多層膜 $1 \ 2 \ d$ を形成するときには、当該所定の扇形形状の領域 $1 \ 2 \ c$ 以外の扇形形状の領域 $1 \ 2 \ c$ にはマスクをするようにして順次扇形形状の領域 $1 \ 2 \ c$ 每に成膜を行うようにしてもよい。あるいは、表面部 $1 \ 2 \ b$ の扇形形状の領域 $1 \ 2 \ c$ 每に反射鏡12を36個の小片に分割し、当該36個の小片それぞれに成膜を行ってから1つに結合して表面部 $1 \ 2 \ b$ として組み上げ、反射鏡12を形成してもよい。

【0038】

次に、超伝導トンネル接合素子14は、ジョセフソン素子の一種であり、薄い絶縁膜（例えば、アルミナ）を超伝導金属薄膜（例えば、ニオブ）で挟み込んだ構造を有している。

【0039】

当該超伝導トンネル接合素子14は、上記したように反射鏡12からの反射光が集光される検出器であり、より詳細には、0.3K程度の極低温で動作し、当該超伝導トンネル接合素子14に光が入射すると、当該入射した光のエネルギーは超伝導金属薄膜に吸収される。

【0040】

そして、超伝導トンネル接合素子14の超伝導金属薄膜に入射した光のエネルギーが吸収されると、当該超伝導金属薄膜中のクーパー対の解離とフォノンの発生とが引き起こされる。さらに、発生したフォノンがクーパー対を解離するという過程が 10^{-12} 秒程度の時間内で生起されることとなる。

【0041】

この際、準粒子が生じ、当該準粒子が量子力学的トンネル効果で絶縁膜を通過することにより、入射した光のエネルギーに比例した電流が発生し、所定の回路系を用いて信号として取り出されて検出器として動作するものである。

【0042】

このように、当該超伝導トンネル接合素子14は、X線から赤外線までの広帯域において高い感度と分光能力とを有する検出器として機能する。

【0043】

具体的に、図4(a)には、超伝導トンネル接合素子14の表面の反射率が示されており、図4(b)には、超伝導トンネル接合素子14の表面の透過率が示されている。これら超伝導トンネル接合素子14の反射率ならびに透過率から明らかなように、当該超伝導トンネル接合素子14の光子の吸収率は95%以上である。

【0044】

また、超伝導トンネル接合素子14は軟X線から極端紫外線の領域における光子の吸収率が非常に高く、上記したようにして光子の吸収により信号を作り出す性質を有する超伝導トンネル接合素子14を用いることにより、軟X線から可視光の領域における光の分光検出が実現されるものである。

【0045】

なお、図5には、超伝導トンネル接合素子14の軟X線から極端紫外線の領域におけるエネルギー分解能の一例を示すグラフが示されている。

【0046】

以上の構成において、本発明による広帯域直入射望遠鏡10を天体観測に用いると、まず、広いエネルギー帯域の光が反射鏡12の表面部12bに垂直に入射される。

【0047】

この際、反射鏡12の表面部12bに入射した広いエネルギー帯域の光のうち、100eVのエネルギーを有する光は、扇形形状の領域12c-100において高い反射率で反射され、90eVのエネルギーを有する光は、扇形形状の領域12c-90において高い反射率で反射され、80eVのエネルギーを有する光は、扇形形状の領域12c-80において高い反射率で反射され、70eVのエネルギーを有する光は、扇形形状の領域12c-70において高い反射率で反射され、60eVのエネルギーを有する光は、扇形形状の領域12c-60において高い反射率で反射され、50eVのエネルギーを有する光は、扇形形状の領域12c-50において高い反射率で反射され、40eVのエネルギーを有する光は、扇形形状の領域12c-40において高い反射率で反射され、30eVのエネルギーを有する光は、扇形形状の領域12c-30において高い反射率で反射され、20eVのエネルギーを有する光は、扇形形状の領域12c-20において高い反射率で反射される（図6参照）。

【0048】

このようにして、軟X線から極端紫外線の領域の所定のエネルギーの光それぞれは、対応する反射鏡12の表面部12bの扇形形状の領域12cによって高い反射率で反射される。一方、当該軟X線から極端紫外線の領域よりもエネルギーの低い可視光から真空紫外線の領域の光はそれぞれ、扇形形状の領域12cの多層膜12dの表面12ddによって全反射（鏡面反射）により高い反射率で反射される。

【0049】

その結果、反射鏡12の表面部12dの反射率は、扇形形状の領域12cそれぞれの反射率との多層膜12dの表面12ddの反斜率とが重ね合わされた反射率となる（図6参照）。従って、反射鏡12の表面部12dによって、入射された広いエネルギー帯域の光のうちの軟X線から可視光の領域の光それぞれが、高い反射率で反射されることになる。

【0050】

そして、反射鏡12の表面部12dからの反射光は超伝導トンネル接合素子1

4に集光される。この際、軟X線から極端紫外線の領域の所定のエネルギーの光それぞれについては、反射鏡12の表面12bの4つのセクションそれぞれの対応する扇形形状の領域12c、即ち、4箇所からの反射光が超伝導トンネル接合素子14に集光されるので、高い結像性能を有する。

【0051】

こうして、反射鏡12の表面部12dからの反射光が超伝導トンネル接合素子14に集光されて入射すされと、上記したようにして入射された光のエネルギーに比例した電流が発生し、所定の回路系を用いて信号が取りだされて、軟X線から可視光の領域における光の分光検出が、単一の反射鏡12と超伝導トンネル接合素子14とによって行われる。

【0052】

上記したようにして、本発明による広帯域直入射望遠鏡10においては、軟X線から可視光の領域における光に対応する多層膜12dが形成された複数の扇形形状の領域12cを表面部12bに配置する反射鏡12と、X線から赤外線までの広帯域において高い感度と分光能力とを有する超伝導トンネル接合素子14とを配設するようにしたので、単一の反射鏡12の複数の扇形形状の領域12cそれぞれと多層膜12dの表面12ddとによって、軟X線から可視光の領域の広いエネルギー帯域の光それぞれが高い反射率で反射されて、超伝導トンネル接合素子14によって分光検出される。

【0053】

このため、本発明による広帯域直入射望遠鏡10においては、広いエネルギー帯域の光、軟X線から可視光の領域の光、特に、軟X線から極端紫外線の領域における光それぞれを観測することができる。

【0054】

また、本発明による広帯域直入射望遠鏡10においては、単一の反射鏡12によって軟X線から可視光の領域の広いエネルギー帯域の光それぞれを高い反射率で反射するので、複数の直入射望遠鏡を用いる必要がなくなり、コストの低減を図ることができるとともに効率よく広いエネルギー帯域の光を同時観測することができる。

【0055】

さらにまた、本発明による広帯域直入射望遠鏡10においては、単一の反射鏡12によって軟X線から可視光の領域の広いエネルギー帯域の光それぞれを高い反射率で反射するので、当該反射鏡12からの反射光が集光される超伝導トンネル接合素子14は1つ配設すればよく、コスト低減を図ることができるとともに当該超伝導トンネル接合素子14を冷却する冷却装置が1つで済むので、天体観測に際して当該広帯域直入射望遠鏡10が搭載される天体衛星などにおいて省スペース化を実現することができる。

【0056】

次に、図7(a) (b)を参照しながら、本発明による広帯域直入射望遠鏡の第2の実施の形態について説明する。

【0057】

この第2の実施の形態と上記した第1の実施の形態とは、上記した第1の実施の形態における反射鏡12は所定のエネルギーの光それぞれに対応する多層膜12dが形成された複数の扇形形状の領域12cを表面部12bに配置しているのに対して(図2ならびに図3参照)、第2の実施の形態における反射鏡32は表面部32bには周期長の異なる多層膜32dが形成されている点において、両者は互いに異なっている。

【0058】

つまり、上記した第1の実施の形態における反射鏡12の多層膜12dの周期長dは、多層膜12dの深さ方向(図3参照)において変化せず一致しているのに対して、第2の実施の形態における反射鏡32の多層膜32dの周期長dは、多層膜32dの深さ方向(図7(b)参照)において連続的に変化しているものである。

【0059】

より詳細には、反射鏡32の表面部32bの多層膜32dにおいては、多層膜32dの深さ方向に沿って、表面32ddから遠ざかるほど周期長dが短く、表面32ddに近づくに従って周期長dが長くなるようになされている。

【0060】

従って、図7(b)に示すように、表面32ddから遠いの周期長 d_1 と、深さ方向における中位の周期長 d_2 と、多層膜32dの表面32dd近傍の周期長 d_3 とは、周期長 $d_1 < 周期長 d_2 < 周期長 d_3$ の関係となる。

【0061】

そして、このような反射鏡32の表面部32bは、第1の実施の形態における反射鏡12の表面部12bのように複数の扇形形状の領域12cに区分されてはいない。

【0062】

しかしながら、反射鏡32の表面部32bの多層膜32dの周期長dが、軟X線から極端紫外線の領域の所定のエネルギーの光それぞれに対応するようにして多層膜32dの深さ方向において連続的に変化しているので、異なる周期長d(例えば、周期長 d_1 、 d_2 、 d_3)それぞれの第1の層32d-1と第2の層32d-2との境界面でプラグ反射を利用して反射される光のエネルギーが異なるようになる。

【0063】

従って、第2の実施の形態の広帯域直入射望遠鏡においては、広いエネルギー帯域の光がそれぞれ反射鏡32の表面部32bに垂直に入射すると、所定のエネルギーの光それぞれが、エネルギーの大きさに応じて反射鏡32の多層膜32dを深さ方向に透過し、対応するの周期長dの第1の層32d-1と第2の層32d-2との境界面で反射される。

【0064】

そして、当該第1の層32d-1と第2の層32d-2との境界面で反射された反射光の干渉が生じて、その結果、入射された広いエネルギー帯域の光のうちの軟X線から可視光の領域の光それぞれが、高い反射率で反射されることになる。

【0065】

このため、第2の実施の形態の広帯域直入射望遠鏡においては、反射鏡32の表面部32bを複数の扇形形状の領域に区分することなしに、上記した第1の実施の形態の広帯域直入射望遠鏡10と同様に、単一の反射鏡32によって、軟X

線から可視光の領域の広いエネルギー帯域の光が高い反射率で反射され、超伝導トンネル接合素子14によって分光検出することができる。

【0066】

また、第2の実施の形態の広帯域直入射望遠鏡においても、上記した第1の実施の形態の広帯域直入射望遠鏡10と同様に、軟X線から可視光の領域の広いエネルギー帯域の光、特に、軟X線から極端紫外線の領域における光それぞれを観測することができ、コストの低減を図ることができるとともに効率よく広いエネルギー帯域の光を観測することができ、さらにまた、天体観測に際して当該広帯域直入射望遠鏡が配設される天体衛星などにおいて省スペース化を実現することができる。

【0067】

なお、上記した第2の実施の形態においては、反射鏡32の表面部32bを複数の扇形形状の領域に区分することなしに、表面部32bの円形形状の領域の全域において同様に、多層膜32dの周期長dを多層膜32dの深さ方向（図8（b）参照）において連続的に変化させた。

【0068】

つまり、上記した第2の実施の形態においては、周期長dを深さ方向において連続的に変化させた多層膜32d（なお、本明細書においては、当該「周期長dを深さ方向において連続的に変化させた多層膜32d」を、「スーパーミラー」と適宜称することとする。）の種類が、反射鏡32の表面部32bにおいて1種類であるようにしたが、これに限られるものではないことは勿論であり、反射鏡32の表面部32bを複数種類のスーパーミラーにより構成するようにしてもよい。

【0069】

例えば、反射鏡32の表面部32bを複数の扇形形状の領域に区分し、当該複数の扇形形状の領域それが異なる種類のスーパーミラーを形成するようにしてもよい。

【0070】

次に、図8至図15に示すシミュレーション結果を参照しながら各種反射鏡の

反射率について説明することとする。

【0071】

図8乃至図12には、上記した第1の実施の形態の広帯域直入射望遠鏡10における反射鏡12（図1乃至図6参照）に対応する反射鏡の反射率のシミュレーション結果が示されており、図8には、使用した反射鏡の表面部の複数種類の扇形形状の領域それぞれの多層膜の理論反射率データを示す表が示されており、図9には、図8に示す理論反射率データの多層膜（整理番号3）の反射率の理論値を示すグラフが示されており、図10には、300eVまでのエネルギーを考慮した場合の反射鏡の合成反射率の理論値を示すグラフが示されており、図11には、125eV以上のエネルギーを考慮しない場合の反射鏡の合成反射率の理論値を示すグラフが示されており、図12には、30eV以下のエネルギーを有する光に対する反射鏡の合成反射率の理論値を示すグラフが示されている。

【0072】

ここで、図8乃至図12に示すシミュレーション結果を示す反射鏡は、上記した第1の実施の形態の広帯域直入射望遠鏡10における反射鏡12（図1乃至図6参照）と対応するものであるが、反射鏡12が1つのセクションで9個の扇形形状の領域12cを有し、9種類の多層膜12dが形成されたものであるのに対して、シミュレーションの用いた反射鏡は、1つのセクションで23個の扇形形状の領域を有し、23種類の多層膜が形成されたものである。

【0073】

図8の表中の「番号」欄は、23種類の異なる多層膜の整理番号を示し、「物質1」欄は、反射鏡12における第1の層12d-1に対応する薄膜を形成する物質を示し、「物質2」欄は、反射鏡12における第2の層12d-2に対応する薄膜を形成する物質を示し、「d値」欄は、周期長dを示し、「ガンマ値」欄は、一組の層の膜厚比、即ち、物質1の膜厚／（物質1の膜厚+物質2の膜厚）を示し、「ペア層数」欄は、多層膜の所定の積層数nを示す。

【0074】

また、「理論計算1」欄は、300eVまでのエネルギーを考慮した場合に反射鏡を構成する多層膜の種類を示しており、この場合は、23種類の多層膜が形

成された反射鏡を用いてシミュレーションが行われている。

【0075】

一方、「理論計算2」欄は、125eV以上のエネルギーを考慮しない場合に反射鏡を構成する多層膜の種類を示しており、この場合は、整理番号1乃至整理番号12と整理番号21乃至整理番号23との15種類の多層膜が形成された反射鏡を用いてシミュレーションが行われている。

【0076】

例えば、整理番号3の多層膜は、図9に示すような反射率を示す。そして、これら23種類の多層膜が形成されて300eVまでのエネルギーが考慮された反射鏡の合成反射率は、図10に示すように、Ptの単層膜が表面部に形成された反射鏡の合成反射率と比較して、エネルギー帯域のほぼ全域でおよそ5倍に向上する。

【0077】

さらに、125eV以上のエネルギーを考慮しないで15種類の多層膜が形成された反射鏡は、300eVまでのエネルギーを考慮して23種類の多層膜が形成された反射鏡の合成反射率に比べてさらに実効的な合成反射率が向上する（図11参照）。

【0078】

このようにして125eV以上のエネルギーを考慮しない場合は、実効的な合成反射率が向上した状態の反射鏡を、300eVまでのエネルギーを考慮した反射鏡よりも少ない種類の多層膜で実現することができる。

【0079】

なお、図12に示すように、300eVまでのエネルギーを考慮して23種類の多層膜が形成された反射鏡においては、軟X線から真空紫外線にかけて数%～数十%という反射率を維持することができる。

【0080】

従って、当該軟X線から極端紫外線の領域よりもエネルギーの低い可視光から真空紫外線の領域の光はそれぞれ、反射鏡の扇形形状の領域の多層膜の表面によって高い反射率で反射される。

【0081】

次に、図13乃至図15には、上記した第2の実施の形態の広帯域直入射望遠鏡における反射鏡32（図7（a）（b）参照）に対応する反射鏡の反射率のシミュレーション結果が示されており、図13には、使用した反射鏡の表面部の複数種類のスーパーミラーそれぞれの理論反射率データを示す表が示されており、図14には、図13に示す理論反射率データのスーパーミラー（整理番号4）それぞれの反射率の理論値を示すグラフが示されており、図15には、図13に示す理論反射率データの複数種類のスーパーミラーからなる表面部を有する反射鏡の合成反射率の理論値を示すグラフが示されている。

【0082】

ここで、図13乃至図15に示すシミュレーション結果を示す反射鏡は、上記した第2の実施の形態の広帯域直入射望遠鏡における反射鏡32（図7（a）（b）参照）と対応するものであるが、反射鏡32が表面部32bを複数の扇形形状の領域に区分することなしに1種類のスーパーミラーが形成されたものであるのに対して、シミュレーションの用いた反射鏡は、表面部が複数の扇形形状の領域に区分されて5種類のスーパーミラーが形成されたものである。

【0083】

そして、このシミュレーションの用いた反射鏡の5種類のスーパーミラーそれぞれの理論反射率データが図13に示されている。なお、図13の表中の「番号」欄は、5種類の異なるスーパーミラーの整理番号を示し、「物質1」欄は、反射鏡32における第1の層32d-1に対応する薄膜を形成する物質を示し、「物質2」欄は、反射鏡32における第2の層32d-2に対応する薄膜を形成する物質を示し、「開始d値」欄は、反射鏡32の多層膜32dの表面32dd近傍の周期長d₃と対応する周期長を示し、「終了d値」欄は、反射鏡32の多層膜32dの本体部32a近傍の周期長d₁と対応する周期長を示し、「ガンマ値」欄は、一組の層の膜厚比、即ち、物質1の膜厚／（物質1の膜厚+物質2の膜厚）を示し、「ペア層数」欄は、多層膜の所定の積層数nを示す。

【0084】

例えば、整理番号4のスーパーミラーは、図14に示すような反射率を示す。

そして、これら5種類のスーパーミラーが形成された反射鏡の合成反射率は、図15に示すように、Ptの単層膜が形成された反射鏡の合成反射率と比較して、エネルギー帯域のおよそ40eVからおよそ120eVの範囲内において向上している。

【0085】

ただし、エネルギー帯域の120eV以上の軟X線に関しては、直入射ではスーパーミラーの効果が得られないものである。

【0086】

なお、上記した実施の形態は、以下の(1)乃至(6)に説明するように変形することができる。

【0087】

(1) 上記した第1の実施の形態において(図2参照)、さらに、反射鏡10の表面部12bの多層膜12dの最上層である表面12ddにPtなどのトップコーティングを施すようにしてもよい。このようにすると、軟X線から極端紫外線の領域よりもエネルギーの低い可視光から真空紫外線の領域の光の反射率をさらに向上させることができる。

【0088】

(2) 上記した第1ならびに第2の実施の形態における反射鏡10の表面部12b、32bの直径や凹面の曲率などは、当該反射鏡10の観測対象や、搭載される天体衛星のスペースなどにより寸法設定すればよい。

【0089】

(3) 上記した実施の形態において、超伝導トンネル接合素子14の特性から、軟X線(300eV)から可視域までの光を同時に検出する際には、エネルギーの高い光が作り出すフォノンイベントにより、低エネルギー側の光のイベントを埋もれさせてしまう可能性がある。

【0090】

このため、軟X線、極端紫外線、紫外線、可視光線をそれぞれ選択するためのバンドパスフィルターを配設するようにすると、軟X線から可視光の領域における光の分光検出を一層確実に行うことができる。

【0091】

この際、軟X線から真空紫外線については、物質の吸収構造を利用した薄膜フィルター、例えば、A1/C（アルミニウム／カーボン）金属薄膜フィルターを用いることができ（図16（a）（b）参照）、真空紫外線から可視光線については、物質の吸収構造を利用したフィルターや干渉を利用したバンドパスフィルターなどを用いることができる。

【0092】

また、こうしたバンドパスフィルターを用いることなしに、超伝導トンネル接合素子14に反射光が入射して検出される電気信号の立ち上がり時間により、軟X線、極端紫外線、紫外線、可視光線のそれぞれのイベントとフォノンイベントを分離するようにしてもよい。

【0093】

このようにすると、軟X線（300eV）から可視域までの光を一層確実に同時検出することができる。

【0094】

（4）上記した実施の形態において、さらに、超伝導トンネル接合素子14を複数用いて分光イメージングを行うようにしてもよく、その際には、各種回路系の変更等を行うようにすればよい。

【0095】

（5）上記した第1の実施の形態において（図2参照）、反射鏡10の表面12bを中心部Pを頂点とする扇形形状の領域12cに区分して9種類のエネルギーの光を反射する多層膜12dを形成するようにしたが、これに限られるものではないことは勿論であり、図8乃至図12にも示すように、多層膜の種類は9種類に限定されない。要は、当該扇形形状の領域それぞれに、軟X線から可視光の領域における光を反射する多層膜をそれぞれ所定の材料を用いて形成するようすればよい。

【0096】

また、これら所定のエネルギーの光を反射する多層膜のデザイン（即ち、扇形形状の領域の並び順やセクションの数など）および区分けの割合（即ち、中心角

α の大きさ)は、検出位置での各々のエネルギーの反射強度が最大になるようにして形成すればよい。

【0097】

例えば、区分けの割合は所定の目的に応じて増減させる自由度を有しているので、扇形形状の領域に形成される多層膜が反射する光のエネルギーが高くなるに従って中心角 α の大きさが大きくなるようにしてもよい。このようにすると、反射鏡の表面部に入射された広いエネルギー帯域の光のうち、エネルギーが高い光ほど対応する広い面積の扇形形状の領域においてより一層高い反射率で反射されるようになる。

【0098】

また、観測上、特定の波長のが意味をなさない場合、例えば、50 eVの光は必要ないが、100 eVの光量を増やしたい場合には、50 eVに対応する多層膜が形成された扇形形状の領域を100 eVに対応する多層膜が形成された扇形形状の領域に変更する。その結果、100 eVの光が一層高い反射率で反射されるようになり、100 eVの光量を増加させることができる。

【0099】

さらに、区分けの仕方も、扇形形状の領域のようなパイスライスに限られるものではないことは勿論であり、例えば、反射鏡10の表面12bを所定形状の領域に区分し、当該所定形状の領域内それぞれに軟X線から可視光の領域の光を反射する多層膜を複数種類形成するようにしてもよい。

【0100】

(6) 上記した実施の形態ならびに上記(1)乃至(5)に示す変形例は、適宜に組み合わせるようにしてもよい。

【0101】

【発明の効果】

本発明は、以上説明したように構成されているので、単一の反射鏡によって広いエネルギー帯域の光それぞれを高い反射率で反射するようになり、広いエネルギー帯域、例えば、軟X線から可視光の領域の光を観測することができるという優れた効果を奏する。

【0102】

また、本発明は、以上説明したように構成されているので、単一の反射鏡によって、例えば、軟X線から可視光の領域の広いエネルギー帯域の光それぞれを高い反射率で反射するようになり、複数の直入射望遠鏡を用いる必要はなくなり、コストの低減を図ることができるとともに効率よく広いエネルギー帯域の光を観測することができるという優れた効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明による広帯域直入射望遠鏡の第1の実施の形態を示す概念構成説明図である。

【図2】

図1におけるA矢視図であり、反射鏡の表面部を中心に示す説明図である。

【図3】

図2におけるB-B線断面図の一部拡大説明図である。

【図4】

(a) は、超伝導トンネル接合素子の表面の反射率を示すグラフであり、(b) は、超伝導トンネル接合素子の表面の透過率を示すグラフである。

【図5】

超伝導トンネル接合素子の軟X線から極端紫外線の領域におけるエネルギー分解能の一例を示すグラフである。

【図6】

本発明による広帯域直入射望遠鏡の第1の実施の形態における反射鏡の合成反射率特性を示すグラフである。

【図7】

(a) は、本発明による広帯域直入射望遠鏡の第2の実施の形態の反射鏡の表面部を中心に示す説明図であり、(b) は、(a) におけるC-C線断面図の一部拡大説明図である。

【図8】

シミュレーションに用いた本発明による広帯域直入射望遠鏡の第1の実施の形

態の反射鏡に対応する反射鏡の表面部の複数種類の扇形形状の領域それぞれの多層膜の理論反射率データを示す表である。

【図9】

図8に示す整理番号3の多層膜の反射率の理論値を示すグラフである。

【図10】

300 eVまでのエネルギーを考慮した場合の反射鏡の合成反射率の理論値を示すグラフである。

【図11】

125 eV以上のエネルギーを考慮しない場合の反射鏡の合成反射率の理論値を示すグラフである。

【図12】

30 eV以下のエネルギーを有する光に対する反射鏡の合成反射率の理論値を示すグラフである。

【図13】

シュミレーションに用いた本発明による広帯域直入射望遠鏡の第2の実施の形態の反射鏡に対応する反射鏡の表面部の複数種類のスーパーミラーそれぞれの理論反射率データを示す表である。

【図14】

図13に示す整理番号4のスーパーミラーの反射率の理論値を示すグラフである。

【図15】

図13に示す理論反射率データのスーパーミラーからなる表面部を有する反射鏡の合成反射率の理論値を示すグラフである。

【図16】

(a) (b) は、A1/C (アルミニウム/カーボン) 金属薄膜フィルターの透過率を示すグラフである。

【符号の説明】

10

広帯域直入射望遠鏡

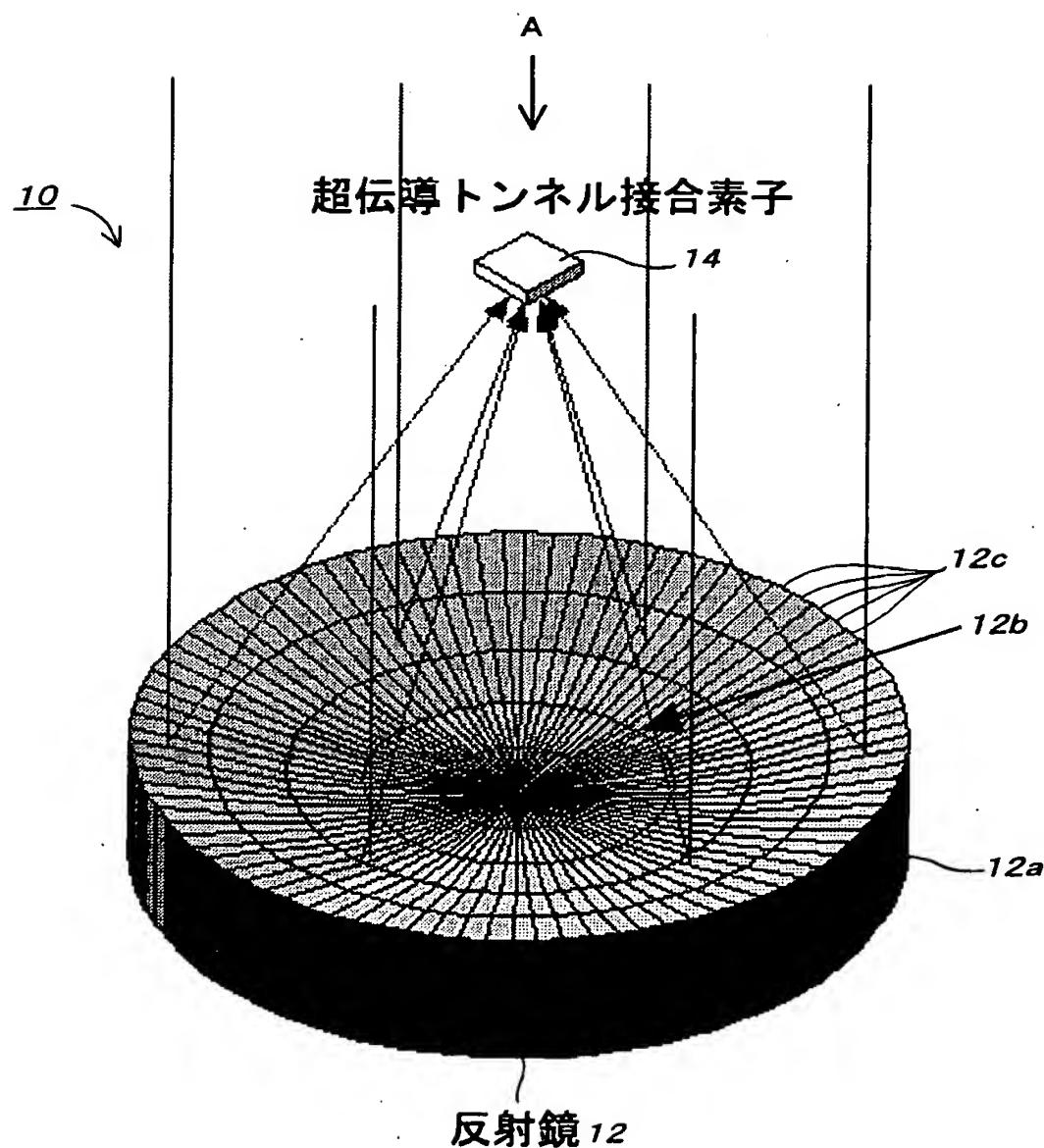
12, 32

反射鏡

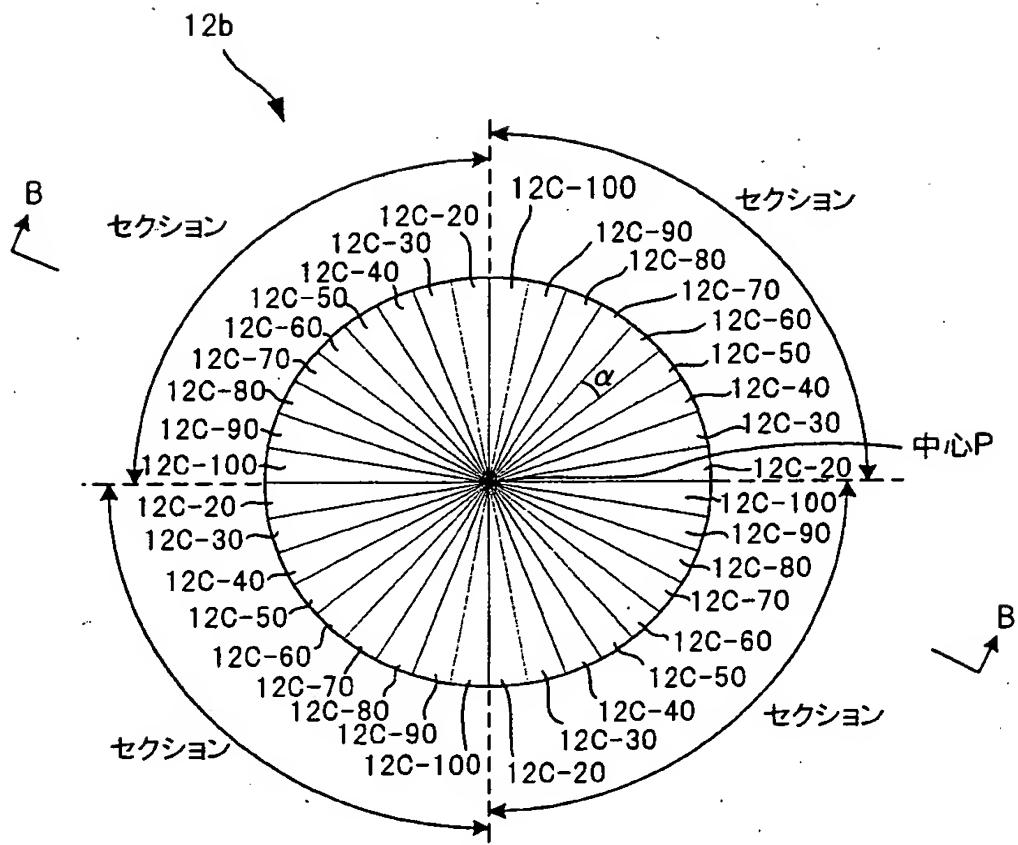
1 2 a	本体部
1 2 b, 3 2 b	表面部
1 2 c,	扇形形状の領域
1 2 d, 3 2 d	多層膜
1 2 d - 1, 3 2 d - 1	第1の層
1 2 d - 2, 3 2 d - 2	第2の層
1 2 d d, 3 2 d d	表面
1 4	超伝導トンネル接合素子

【書類名】 図面

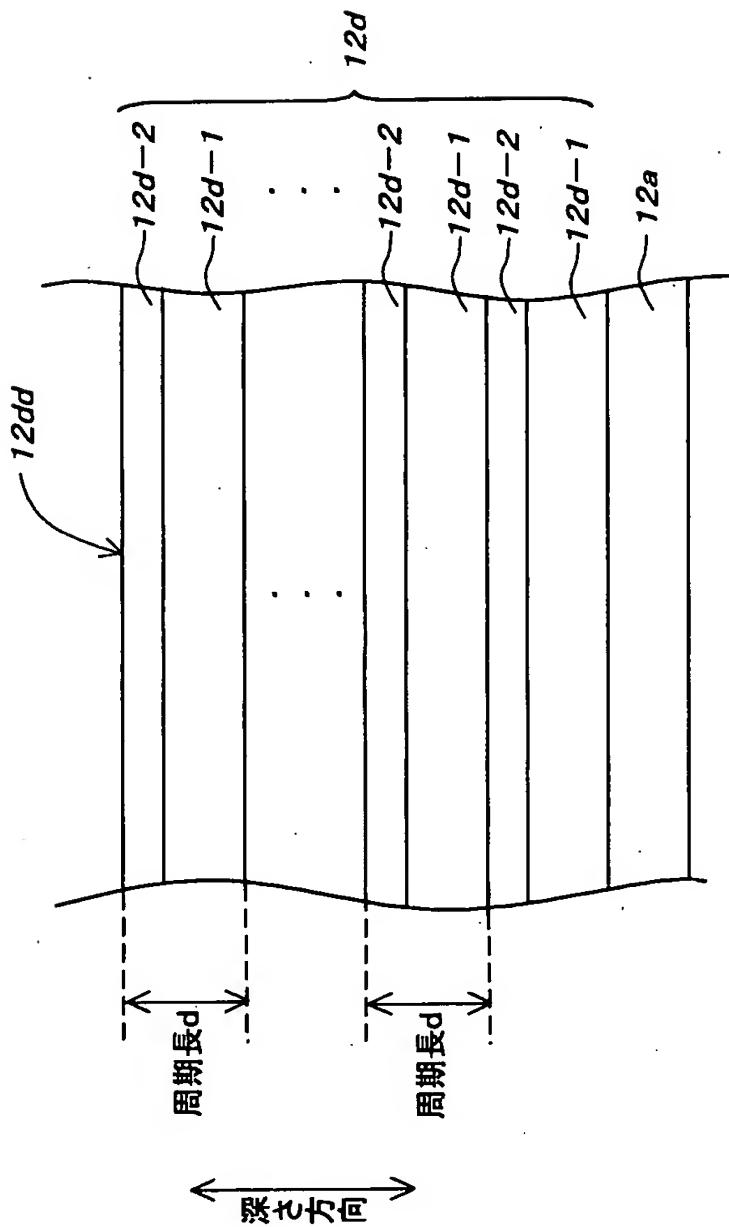
【図1】



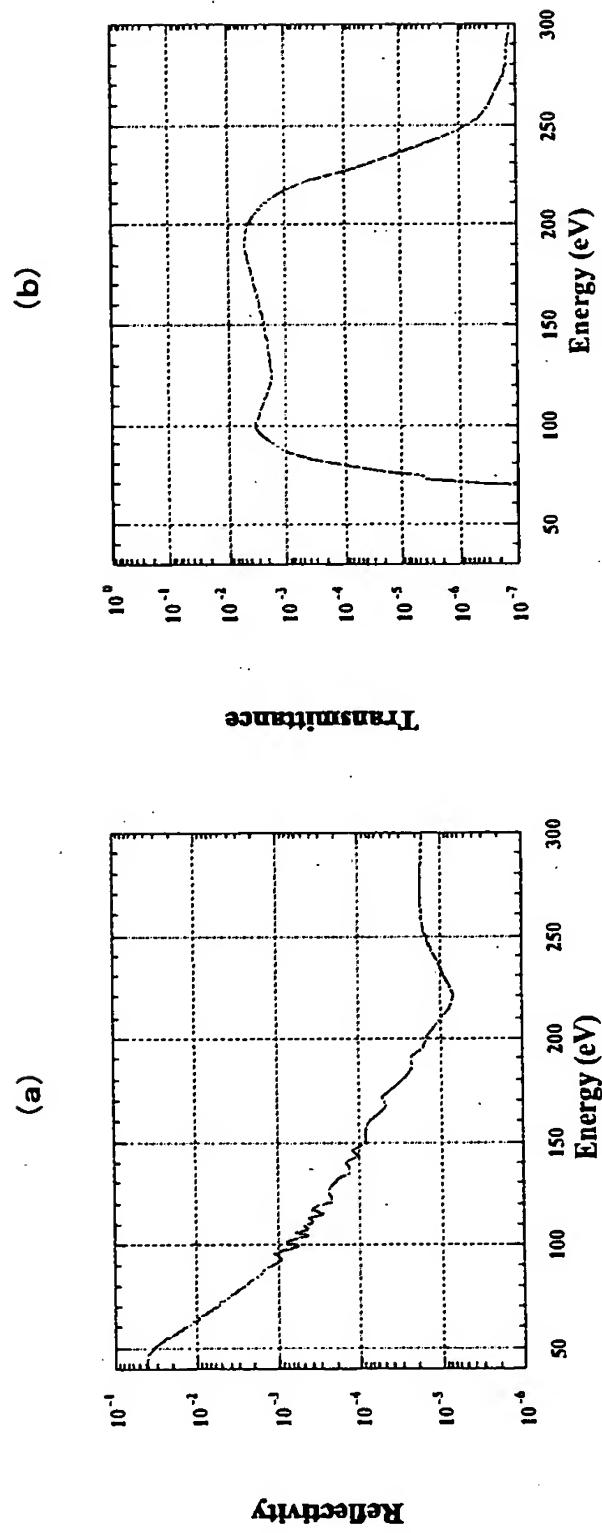
【図2】



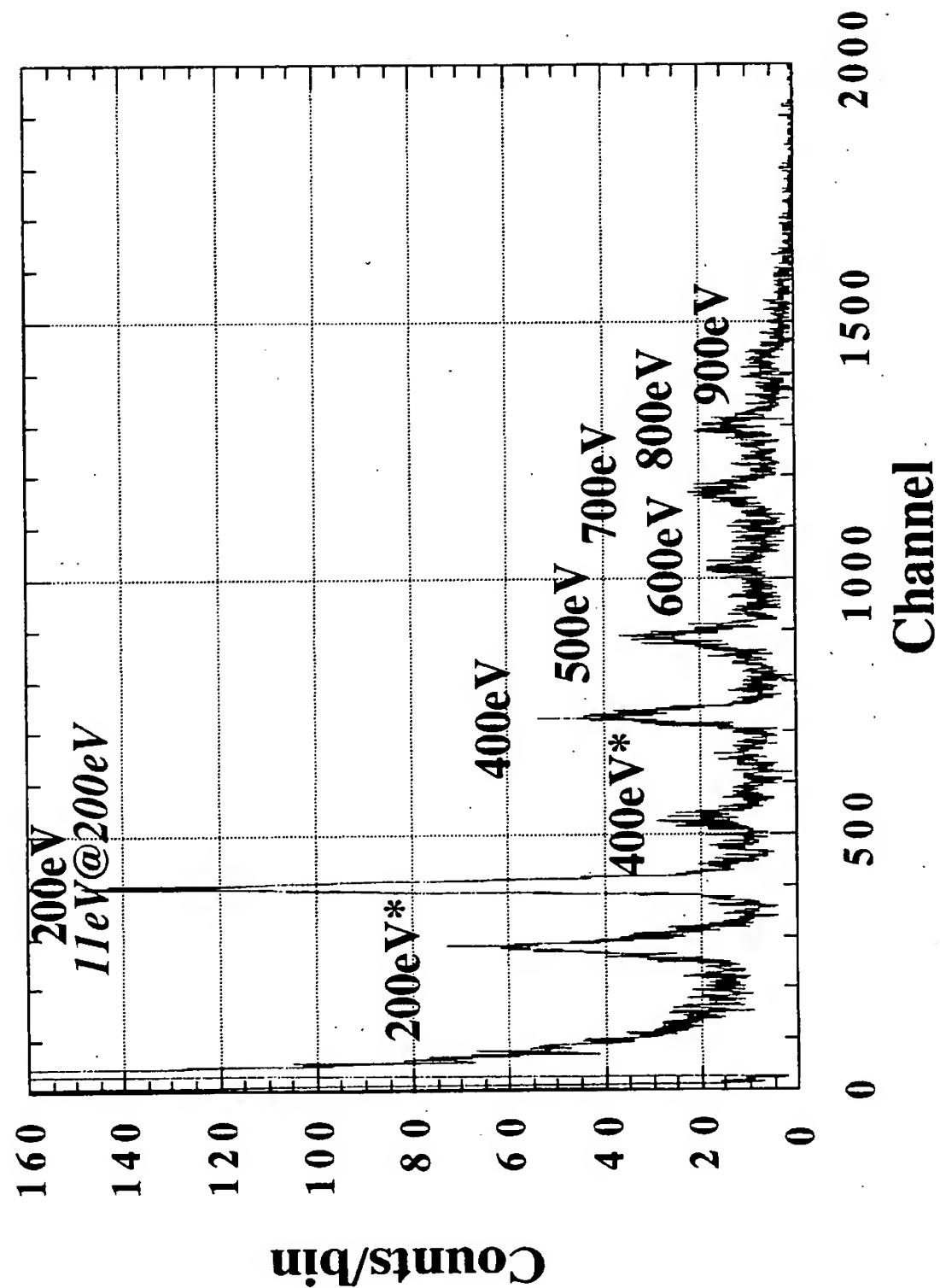
【図3】



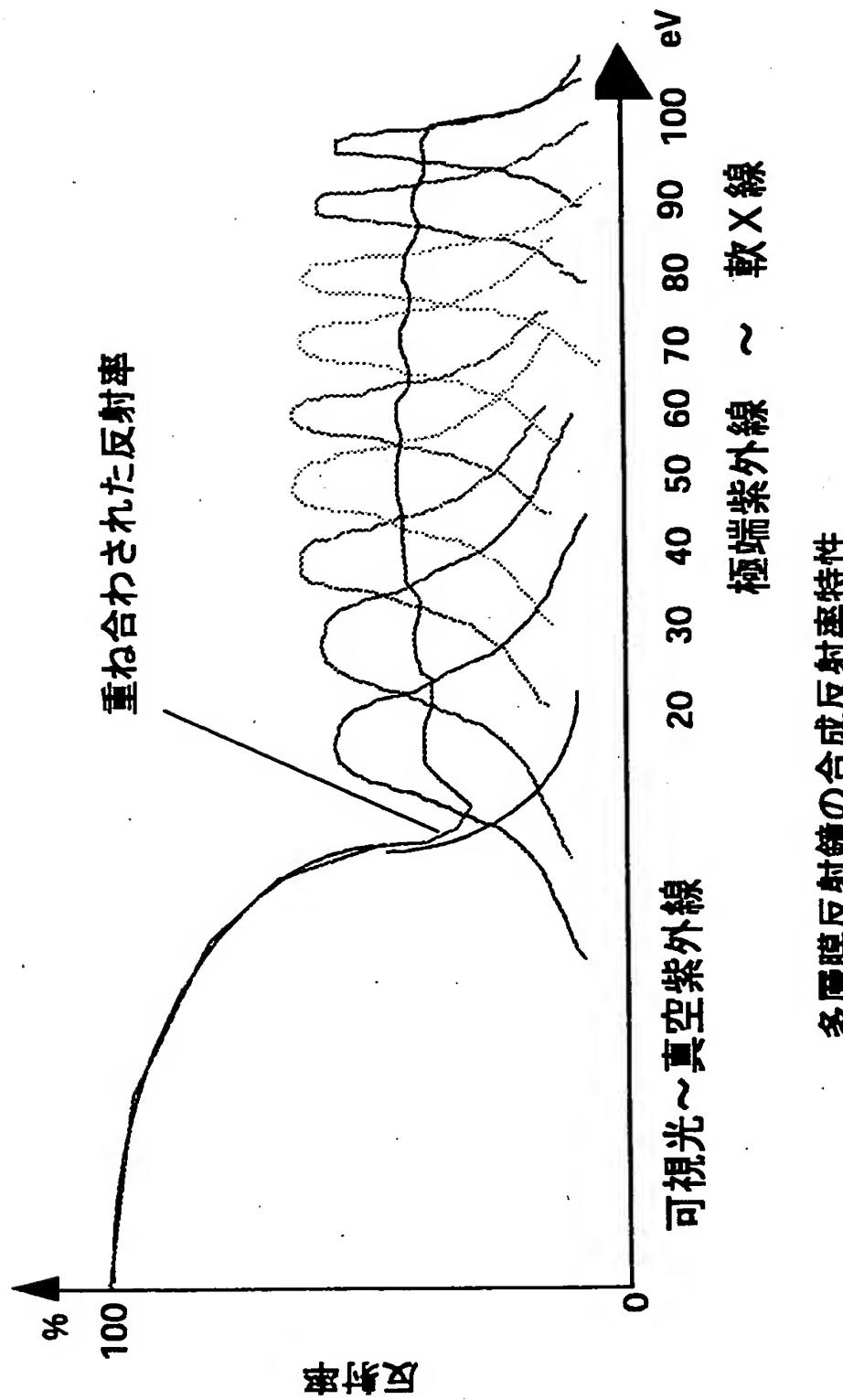
【図4】



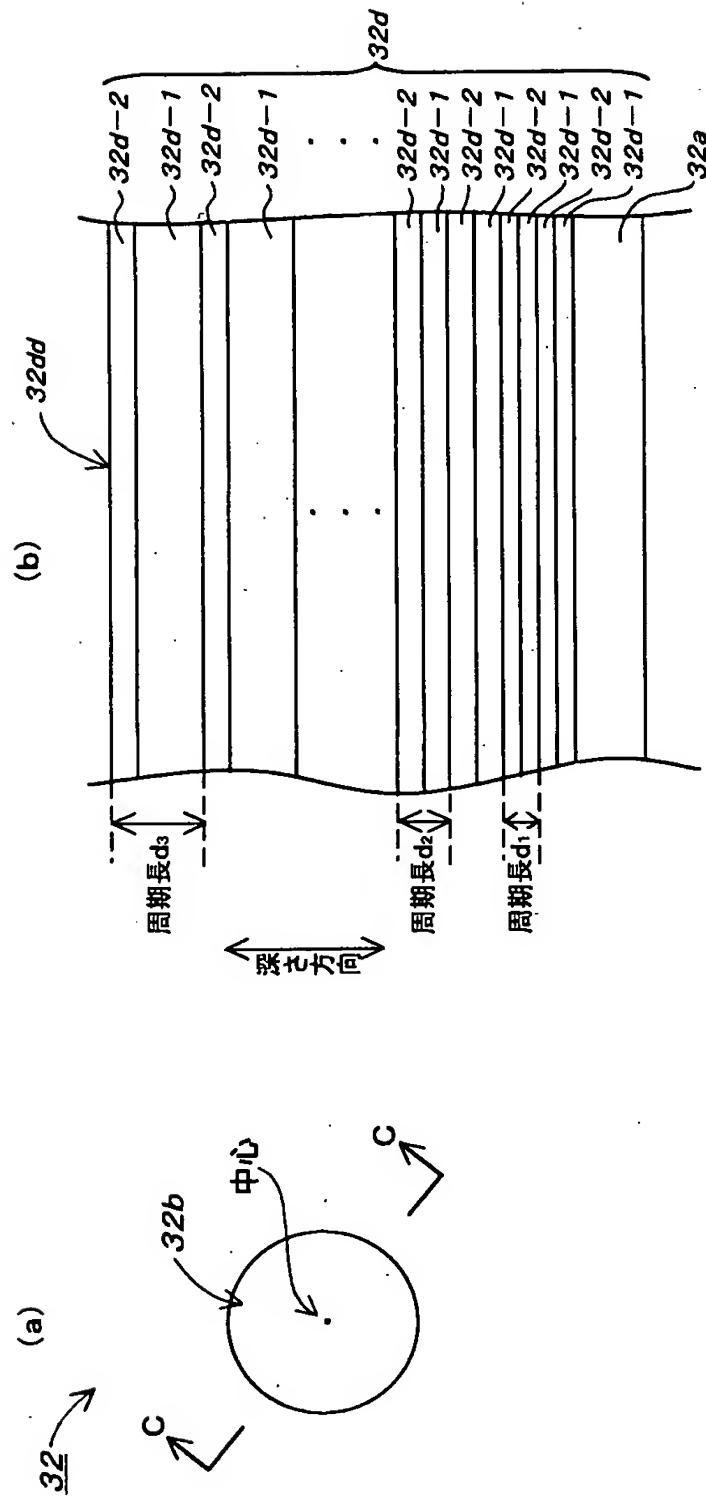
【図5】



【図6】



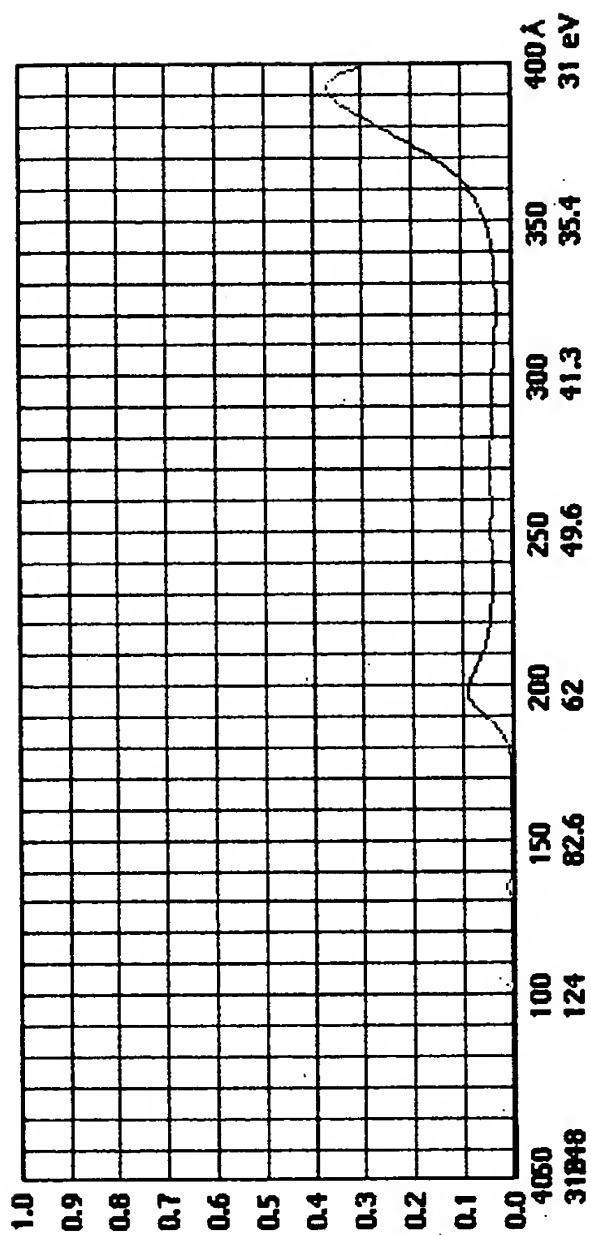
【図7】



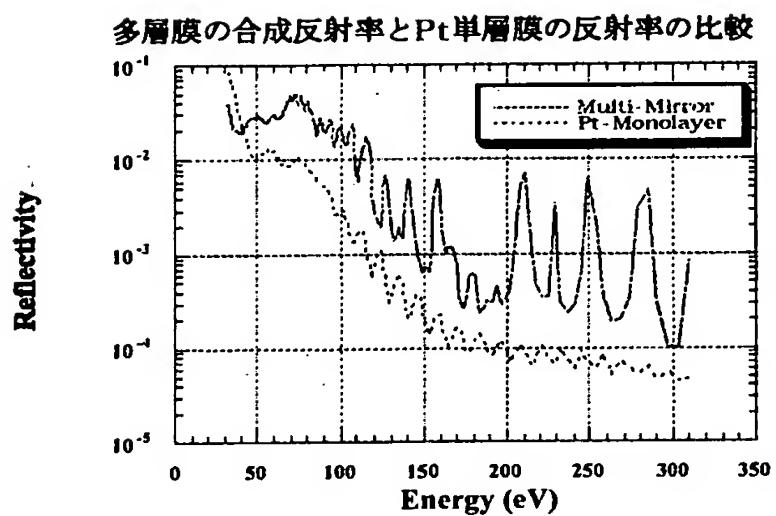
【図8】

番号	物質1	物質2	d値	ガンマ値	ペア層数	理論計算1	理論計算2
1	Mo	Mg2Si	170	50	20	0	0
2	Mo	Mg2Si	190	50	20	0	0
3	Mo	Mg2Si	210	40	20	0	0
4	Mo	Si	115	50	20	0	0
5	Mo	Si	140	50	20	0	0
6	Mo	Si	55	50	20	0	0
7	Mo	Si	60	50	20	0	0
8	Mo	Si	65	50	20	0	0
9	Mo	Si	65	70	20	0	0
10	Mo	Si	70	70	20	0	0
11	Mo	Si	75	70	20	0	0
12	Mo	Si	80	50	20	0	0
13	Ni	C	22	40	200	0	x
14	Ni	C	25	40	200	x	x
15	Ni	C	30	40	200	x	x
16	Ni	C	40	30	30	0	x
17	Ni	C	45	30	30	0	x
18	Ni	C	50	30	30	0	x
19	Ni	C	55	30	30	0	x
20	Ni	C	60	30	30	0	x
21	Mo	Si	85	50	20	0	0
22	Mo	Si	90	50	20	0	0
23	Mo	Si	95	50	20	0	0

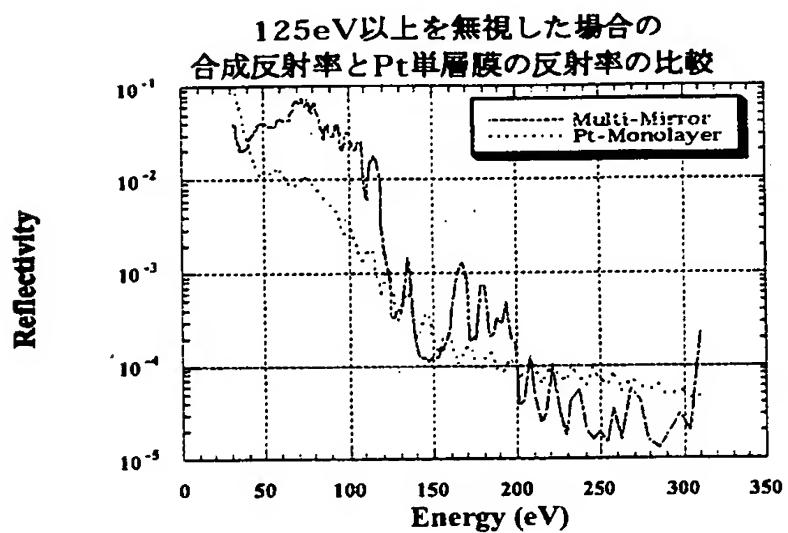
【図9】



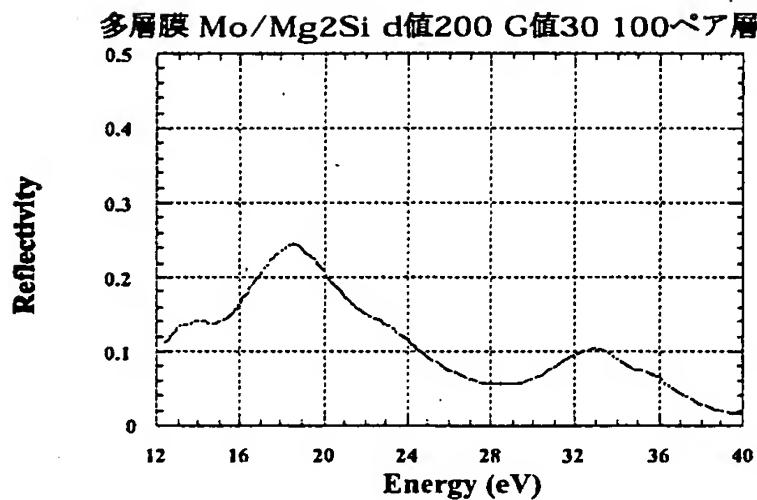
【図10】



【図11】



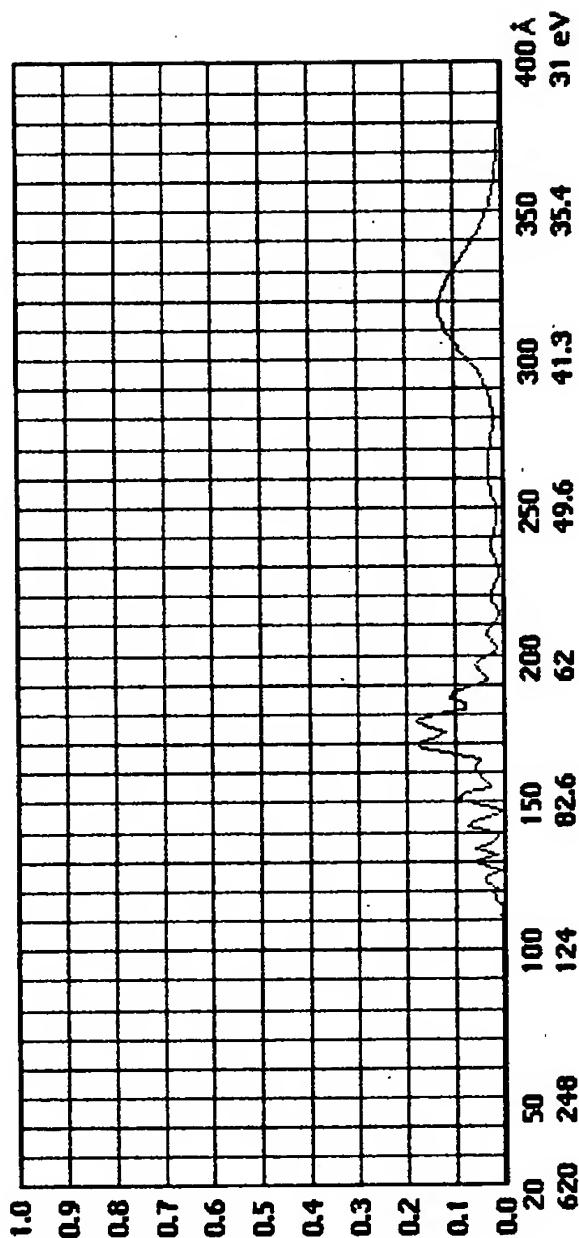
【図12】



【図13】

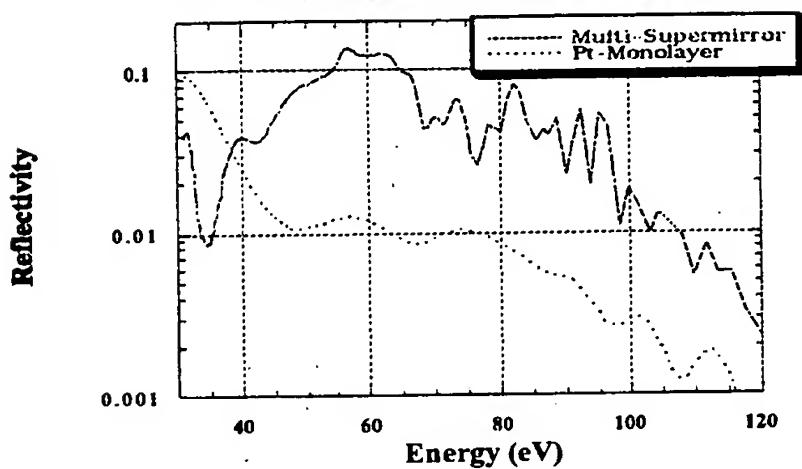
番号	物質1	物質2	開始d値	終了d値	ガンマ値	ペア層数
1	Mo	Si	170	50	30	20
2	Mo	Si	190	50	50	20
3	Mo	Si	210	50	35	20
4	Mo	Si	115	50	25	20
5	Mo	Si	140	50	20	100

【図14】

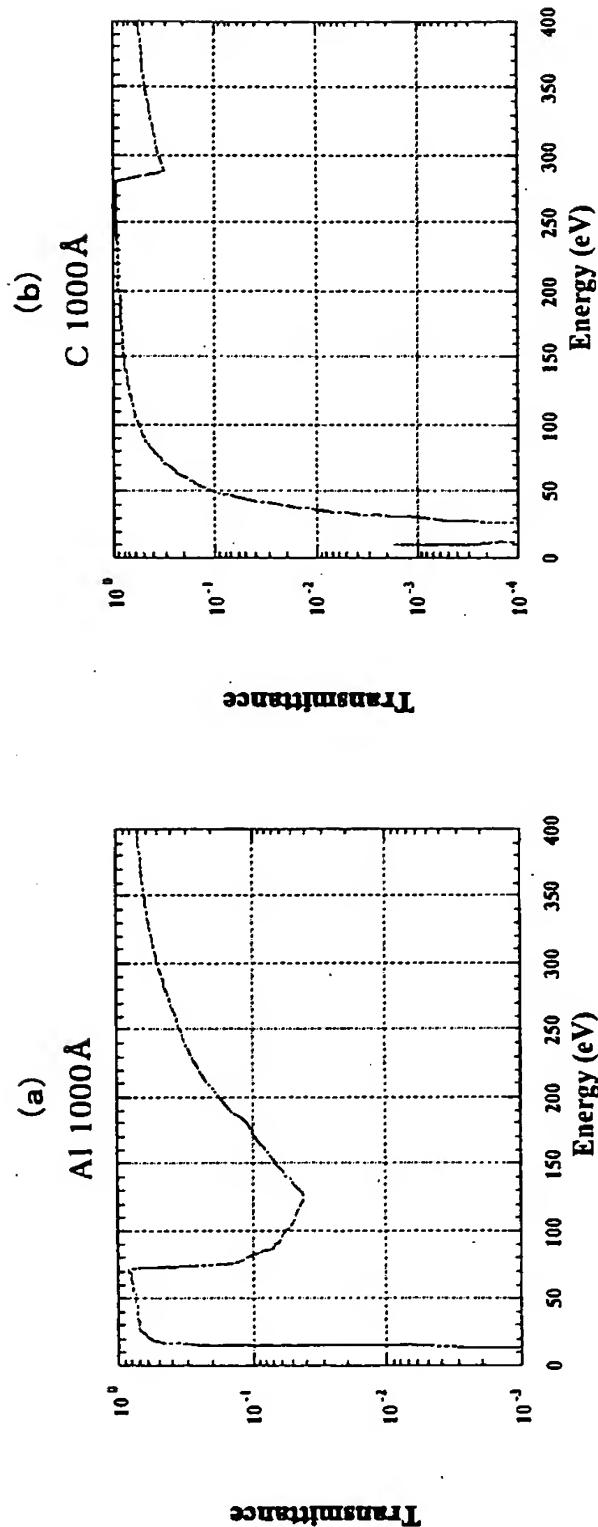


【図15】

スーパー・ミラーの合成反射率とPt単層膜の反射率の比較



【図16】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 単一の反射鏡によって広いエネルギー帯域、例えば、軟X線から可視光の領域の光それぞれを高い反射率で反射するようにして、広いエネルギー帯域の光を観測することができるようとする。

【解決手段】

所定形状の領域毎にそれぞれ異なる種類の多層膜が形成された表面部を有し、当該表面部において入射された光を反射する反射鏡と、上記表面部において反射された光が入射され、当該入射された光を分光検出する検出器とを有する。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000006792]

1. 変更年月日 1990年 8月28日
[変更理由] 新規登録
住 所 埼玉県和光市広沢2番1号
氏 名 理化学研究所